

BUNDEREPUBLIK DEUTSCHLAND

10 rec'd PCT 2003

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 43 079.9

Anmeldetag: 16. September 2002

Anmelder/Inhaber: Endress + Hauser GmbH + Co KG,
Maulburg/DE

Bezeichnung: Kapazitiver Drucksensor

IPC: G 01 L 19/14

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 10. Juli 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Agurks

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

BEST AVAILABLE COPY

Kapazitiver Drucksensor

5 Die Erfindung betrifft einen kapazitiven Drucksensor, insbesondere einen kapazitiven keramischen Drucksensor.

10 Derartige Drucksensoren werden vielfach in der Prozeßmeßtechnik eingesetzt, um den Druck von Prozeßmedien zu messen, die als Flüssigkeiten, Gase oder Dämpfe vorliegen können. Im wesentlichen umfassen derartige Drucksensoren eine Druckmeßzelle aus einem Grundkörper und einer elastischen Membran, insbesondere aus einem keramischen Grundkörper und einer keramischen Membran. Am Grundkörper ist eine flache Ausnehmung vorgesehen, die auch als Membranbett bezeichnet wird und die von der Membran überdeckt wird. Im Meßbetrieb wird die Membran mit dem Druck eines Prozeßmediums beaufschlagt, und die Verformung der elastischen Membran, die beispielsweise 15 kapazitiv oder resistiv ermittelt wird, ist ein Maß für den Druck. Eine entsprechende Druckmeßzelle ist u.a. in der deutschen Offenlegungsschrift DE 39 01 492 offenbart.

20 Im Meßbetrieb wird eine Druckmeßzelle gewöhnlich axial eingespannt zwischen einem medienseitigen elastischen Dichtring, der auf der membranseitigen Stirnfläche des Sensors aufliegt, und einem Stützring, welcher die von der Membran abgewandte Stirnfläche des Grundkörpers axial abstützt, wie beispielsweise in der deutschen Offenlegungsschrift DE 42 13 857 dargestellt ist. 25

Insofern, als die Verformung der Membran bei gegebenem Druck von der effektiven Membransteifigkeit abhängt, ist es erforderlich, die Membransteifigkeit nach der Kalibrierung über den Meßbereich des 30 Drucksensors, möglichst konstant zu halten. Es ist daher besonders wichtig, daß möglichst wenige radiale Kräfte auf die Druckmeßzelle wirken, da radial

einwärts wirkende Kräfte die Membransteifigkeit verringern und radial auswärts wirkende Kräfte die Membransteifigkeit vergrößern können.

5 In der ebenfalls anhängigen deutschen Patentanmeldung mit dem
Aktenzeichen 10229703.7 beschreibt die Anmelderin, daß die axiale
Einspannung einer Druckmeßzelle zwischen einem Dichtring und einem
Stützring eine elastische Durchbiegung der rückseitigen Stirnfläche des
Grundkörpers in axialer Richtung bewirkt. Die Durchbiegung führt zu radialen
10 Verformungen des Grundkörpers im Bereich der membranseitigen Stirnfläche,
wenn die Geometrie des Stützrings nicht auf die Geometrie der Druckmeßzelle
abgestimmt ist. Hierbei erweist sich der Innendurchmesser des Stützrings als
besonders kritische Größe. Ist die Auflagefläche des Stützrings zu groß, bzw.
ist der Innendurchmesser zu klein, so bewirken die axialen Einspannkräfte, die
15 durch den Dichtring mit dem Durchmesser in die Druckmeßzelle bzw. den
Grundkörper eingeleitet werden, Biegemomente in der Druckmeßzelle, welche
eine in der Summe radial auswärts gerichtete Verformung der Meßmembran
verursachen. In ähnlicher Weise wird die dem Dichtring zugewandte Stirnfläche
radial einwärts elastisch verformt, wenn die Auflagefläche des Stützrings zu
20 klein bzw. der Innendurchmesser des Stützrings zu groß ist.

20 Die beschriebenen stirnseitigen radialen Verformungen wären grundsätzlich
vertretbar, wenn sie konstant gehalten werden könnten. Dies ist jedoch nicht
praktikabel, da die radialen Verformungen eine Funktion der axialen
Einspannkräfte sind, welche insbesondere von der Alterung bzw. Temperung
25 des elastischen Dichtrings abhängen, über den die axialen Einspannkräfte
eingeleitet werden. Beispielsweise kann die axiale Einspannkraft irreversibel
von 500 N auf etwa 400 N reduziert werden, wenn ein Drucksensor mit einem
neu eingesetzten Dichtring auf 80°C erwärmt wird.

30 Veränderungen der radialen Verformung sind praktisch also nur durch ein
Design zu verhindern, bei dem selbst bei maximaler axialer Einspannkraft keine
nennenswerten radialen Verformungen auftreten.

Die Lösung der genannte deutschen Patentanmeldung mit dem Aktenzeichen 10229703.7 beruht daher darauf, für eine Druckmeßzelle mit vorgegebenen Abmessungen und Materialeigenschaften einen Innendurchmesser des Stützrings zu identifizieren, bei dem die radiale Verformung der Druckmeßzelle im Bereich der Fügestellen der Meßmembran weitgehend eliminiert ist, so daß die Variation der MembranstEIFigkeit aufgrund der sich verändernden axialen Einspannkkräfte bis auf einen vertretbaren Restfehler minimiert ist.

Der Drucksensor gemäß der 10229703.7 umfaßt eine Druckmeßzelle mit einem im wesentlichen zylindrischen Grundkörper mit einem ersten Durchmesser und einer ersten Dicke, einen an einer Stirnfläche des Grundkörpers gefügten Meßmembran mit einem zweiten Durchmesser und einer zweiten Dicke, wobei die Druckmeßzelle axial eingespannt ist zwischen einem elastischen Dichtring mit einem dritten Durchmesser und einer dritten Dicke, der auf der membranseitigen Stirnseite der Druckmeßzelle aufliegt, und einem Stützring mit einem vierten Außendurchmesser, einem vierten Innendurchmesser und einer vierten Dicke, wobei der Stützring die von der Meßmembran abgewandte rückwärtige Stirnseite der Druckmeßzelle abstützt; wobei ferner die Abmessungen des Stützrings solchermaßen auf die Abmessungen des Dichtrings und der Druckmesszelle abgestimmt sind, daß eine durch die axiale Einspannung der Druckmeßzelle bedingte radiale Verformung der membranseitigen Stirnfläche so gering ist, daß der Spannenfehler des Drucksensors aufgrund einer Reduzierung der axialen Einspannkraft um mindestens 10% nicht mehr als etwa 0,02% der Spanne beträgt.

Der Spannenfehler bezeichnet in diesem Zusammenhang die Abweichung der bei reduzierter axialer Einspannkraft auftretenden Differenz zwischen dem Meßwert bei Maximaldruck und dem Meßwert ohne Druckbeaufschlagung von der entsprechenden Differenz bei voller axialer Einspannkraft.

Die volle axiale Einspannkraft bezeichnet beispielsweise die axiale Einspannkraft, mit der Drucksensoren mit neuen Dichtringen montiert werden, um auch nach einer Temperung bzw. Alterung des Dichtrings den spezifikationsgemäßen Druck sicher halten zu können können. Die axiale
5 Einspannkraft kann beispielsweise zwischen 350 N und 550 N liegen, wobei die gewählte Einspannkraft im Einzelfall von der Art der Dichtung und dem Nenndruck bzw. den Spezifikationen des Drucksensors abhängt.

10 Jüngere experimentelle Untersuchungen haben nun ergeben, daß Varianten, bei denen der Stützring fest mit dem Grundkörper verbunden oder einstückig mit diesem ausgebildet ist, hinsichtlich des Spannenfehlers beherrschbarer sind. D.h., der Spannenfehler nimmt einen beliebig geringen Wert an und streut kaum zwischen verschiedenen Meßzellen eines Typs.

15 Die Ergebnisse hinsichtlich der Temperaturhysterese der Spanne sind für diese Varianten jedoch unbefriedigend, d.h., der durch Hysterese bedingte Fehler der Spanne ist zu groß.

20 Die Temperaturhysterese ist nach derzeitigem Verständnis eine Folge unzureichender Relaxation an den Grenzflächen zwischen Komponenten mit unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten. Besonders kritisch ist in diesem Zusammenhang die Grenzfläche zwischen einem Gewinding bzw. Einspannring zum Einspannen des Stützrings.

25 Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung einen Drucksensor bereitzustellen, bei dem neben dem Spannenfehler aufgrund der Veränderung der axialen Einspannung auch die Temperaturhysterese reduziert ist.

30 Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch den Drucksensor, gemäß des unabhängigen Patentanspruchs 1 und das Verfahren gemäß des unabhängigen Patentanspruchs 15.

Der erfindungsgemäße Drucksensor umfaßt

5 eine Druckmeßzelle mit einem im wesentlichen zylindrischen Grundkörper mit einem ersten Durchmesser und einer ersten Dicke, einen an einer Stirnfläche des Grundkörpers gefügten Meßmembran mit einem zweiten Durchmesser und einer zweiten Dicke,

10 einen elastischen Dichtring mit einem dritten Durchmesser und einer dritten Dicke,

einen Stützring mit einem vierten Außendurchmesser, einem vierten Innendurchmesser und einer vierten Dicke, wobei der Stützring mit der von der Meßmembran abgewandten Stirnseite der Druckmeßzelle fest verbunden ist,

15 einen Einspannring mit ersten Eingriffsmitteln und

ein Gehäuse zur Aufnahme einer Druckmeßzelle, wobei das Gehäuse eine axiale Anschlagfläche für den Dichtring und zweite Eingriffsmittel, die in die ersten Eingriffsmittel eingreifen, aufweist,

20 wobei die Druckmeßzelle zwischen dem elastischen Dichtring, der zwischen der axialen Anschlagfläche des Gehäuses und der membranseitigen Stirnseite der Druckmeßzelle angeordnet ist, und dem Stützring, mittels des Einspannrings axial eingespannt ist,

25 wobei ferner

zwischen dem Einspannring und dem Stützring ein steifes Entkopplungselement angeordnet ist, und

30 die Abmessungen des Stützrings und ggf. des Entkopplungselements solchermaßen auf die Abmessungen des Dichtrings und der Druckmesszelle

abgestimmt sind, daß eine durch die axiale Einspannung der Druckmeßzelle bedingte radiale Verformung der membranseitigen Stirnfläche so gering ist, daß der Spannenfehler des Drucksensors aufgrund einer Reduzierung der axialen Einspannkraft um mindestens 10% nicht mehr als etwa 0,02% beträgt und die
5 Temperaturhysterese der Spanne nicht mehr als etwa 0,03% beträgt.

Die Temperaturhysterese kann beispielsweise durch Vergleichsmessungen vor und nach einem Temperaturzyklus ermittelt werden bei dem der Sensor von Raumtemperatur auf 150°C erwärmt, danach auf -40°C abgekühlt und
10 anschließend wieder auf Raumtemperatur erwärmt wird. Gleichermaßen kann zuerst eine Abkühlung auf die Minimaltemperatur auch vor der Erwärmung auf die Maximaltemperatur erfolgen.

Vorzugsweise sind die Abmessungen des Stützrings und ggf. des
15 Entkopplungselements so weit optimiert, daß der Spannenfehler bei einer Reduzierung der Einspannkraft um mindestens 20% nicht mehr als etwa 0,02% beträgt. Weiter bevorzugt sind die Abmessungen des Stützrings und ggf. des Entkopplungselements so weit optimiert, daß der Spannenfehler bei einer Reduzierung der Einspannkraft um mindestens 10% bzw. mindestens 20%
20 nicht mehr als etwa 0,01% beträgt.

Zudem können die die Abmessungen des Stützrings und ggf. des
Entkopplungselements so weit optimiert werden, daß die Temperaturhysterese der Spanne nicht mehr als 0,02% und besonders bevorzugt nicht mehr als
25 0,01% beträgt.

Vorzugsweise sind der Grundkörper und die Meßmembran aus dem gleichen Material gefertigt, wobei derzeit ein keramisches Material, insbesondere
30 Korund, bevorzugt wird. Die Meßmembran weist bevorzugt etwa den gleichen Durchmesser wie der Grundkörper auf. Insbesondere bei keramischen Drucksensoren kann die Meßmembran mittels eines Aktivhartlotes oder eines

Glases an der Stirnseite des Grundkörpers befestigt sein. In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfaßt die Fügestelle einen Sinterkorund.

5 Der Stützring weist in der derzeit bevorzugten Ausführungsform ebenfalls das gleiche Material wie der Grundkörper auf. Dies ist insofern vorteilhaft, als der Stützring dann den gleichen Wärmeausdehnungskoeffizienten wie der Grundkörper aufweist. Der Stützring sollte vorzugsweise ein Material aufweisen das mindestens so steif ist wie der Grundkörper. Der Außendurchmesser des Stützrings sollte nicht kleiner und vorzugsweise gleich dem Durchmesser des Grundkörpers sein. In einer derzeit bevorzugten Ausführungsform ist der Stützring fest mit dem Grundkörper verbunden. Dies kann durch Löten, beispielsweise mit einem Aktivhartlot, oder durch Kleben erfolgen. Schließlich kann der Stützring einstückig mit dem Grundkörper gefertigt sein. Der Stützring weist bevorzugt mindestens die Dicke des Grundkörpers auf.

15 Das Entkopplungselement ist insofern steif, als das Material des Entkopplungselements vergleichbare mechanische Eigenschaften aufweist, wie das Material des Stützrings. Bevorzugt weist das Entkopplungselement das gleiche Material auf wie der Stützring.

20 Das Entkopplungselement dient insbesondere dazu Verformungen des Stützrings aufgrund unterschiedlicher thermischer Ausdehnungskoeffizienten des Einspannrings, des Gehäuses und des Stützrings zu minimieren.

25 Derzeit sind zwei Varianten von Entkopplungselementen bevorzugt:

30 Bei der ersten Variante umfaßt das Entkopplungselement einen Entkopplungsring, der bevorzugt die gleichen Innen- und Außendurchmesser wie der Stützring aufweist. Weiter bevorzugt hat der Entkopplungsring etwa die gleiche Dicke wie der Stützring. Der Entkopplungsring lastet flächig auf dem Stützring. Optional sind Mittel vorgesehen, um die Reibung zwischen dem Entkopplungsring und dem Stützring zu minimieren. Hierzu kann eine

Kunststoffschicht bzw. -folie, beispielsweise Teflon, eine Hartstoffglattschicht, wie DLC (Diamond Like Carbon), oder ein Gleitmittel wie Molybdändisulfid eingesetzt werden.

- 5 Bei der zweiten Variante umfaßt das Entkopplungselement eine Versteifungsplatte. Die Versteifungsplatte kann entweder lose auf dem Stützring aufliegen, fest mit dem Stützring verbunden oder einstückig mit dem Stützring ausgebildet sein. Hinsichtlich der Reduzierung der Temperaturhysterese, hat die Verbindung der Versteifungsplatte mit dem
- 10 Stützring nach derzeitiger Erkenntnis keinen Einfluß. Bevorzugt weist die Versteifungsplatte den gleichen Durchmesser wie der Außendurchmesser des Stützrings auf. Insbesondere die Dicke der Versteifungsplatte ist ein Parameter, der bei der Optimierung des erfindungsgemäßen Sensors variiert werden kann.
- 15 Der Einspannring umfaßt vorzugsweise einen Gewinding wobei die ersten Eingriffsmittel durch das Gewinde auf der Mantelfläche des Gewinderings realisiert sind. Die zweiten Eingriffsmittel sind entsprechend ein Innengewinde in einem zylindrischen Gehäuseabschnitt, in welches der Gewinding eingreift, um über das Entkopplungselement und den Stützring eine axiale Einspannkraft
- 20 auf die Druckmeßzelle auszuüben.

Die Erfindung wird nun anhand eines in den beigefügten Figuren dargestellten Ausführungsbeispiels erläutert. Es zeigt:

25

Fig. 1: eine Schnittzeichnung durch einen erfindungsgemäßen Drucksensor,

30

Fig. 2a-c: schematische Ansichten von verschiedenen Varianten des Entkopplungselements des erfindungsgemäßen Drucksensors, und.

Fig. 3a-c: FEM-Daten zur Verformung einer Druckmeßzelle bei axialer Einspannung.

5 Der in Fig. 1 gezeigte Drucksensor umfaßt eine Druckmeßzelle 6 die einen Grundkörper und eine Meßmembran aus Korund aufweist, die mittels eines Aktivhartlots an der vorderen Stirnfläche des Grundkörper befestigt ist. Ein Stützring aus Korund, dessen Außendurchmesser gleich dem Durchmesser Φ_1 des Grundkörpers ist, ist an der rückseitigen Stirnfläche des Grundkörpers mittels eines Aktivhartlots befestigt. Die Druckmeßzelle 6 und der Stützring 2 sind in einem Gehäuse aus Edelstahl angeordnet, welches eine zylindrische Meßzellenkammer 1 und einen Prozeßanschlußflansch 7 aufweist, welcher an einer stirnseitigen Öffnung der Meßzellenkammer 1 angeordnet ist. Der Prozeßanschlußflansch 7 erstreckt sich radial einwärts von der zylindrischen Wand der Meßzellenkammer 1 und bildet so eine axiale Anschlagfläche in der eine Ringnut 71 geformt ist zur Aufnahme eines elastischen Dichtrings 8. Die Druckmeßzelle 6 drückt mit der membranseitigen Stirnfläche axial gegen den Dichtring 8.

20 Die Einspannkraft ist durch die Kompression des Dichtrings 8 und dessen elastische Eigenschaften gegeben. Die Kompression des Dichtrings wird bei der Montage des Drucksensors über die Position eines Gewinderings 5 eingestellt, der rückseitig über ein Entkopplungselement, hier eine Entkopplungsplatte 4, auf den Stützring 2 wirkt. Die elastischen Eigenschaften des Dichtrings 8 ändern sich durch Alterung bzw. Temperung des Dichtrings unter Kompression. Bei dem beschriebenen Ausführungsbeispiel beträgt die anfängliche Einspannkraft 500 N. Nach einer Temperung des Dichtrings, die beispielsweise im Betrieb durch Reinigungszyklen des Sensors mit Wasserdampf erfolgen kann, wird die Einspannkraft auf 400 N reduziert.

30 Beispiele für Einspannelemente sind in den Detailansichten in Fign 2 a-c gezeigt.

In Fig. 2a ist als Entkopplungselement ein Entkopplungsring 41 eingesetzt, der die gleichen Abmessungen wie der Stützring 2 aufweist. Zwischen dem Entkopplungsring 41 und dem Stützring 2 ist eine Teflonschicht angeordnet. Die Temperaturhysterese der Spanne wurde durch Einsatz des Stützrings 2 von 0,15% auf etwa 0,01% reduziert.

Fig. 2b und 2c zeigen eine Variante, bei der das Entkopplungselement als steife Entkopplungsplatte realisiert ist. In Fig. 2b ist die Entkopplungsplatte 42 einstückig mit dem Stützring 2 ausgebildet. In Fig. 2c ist eine Entkopplungsplatte 4 nur lose auf den Stützring aufgelegt. Hinsichtlich der Reduzierung des Spannefehlers und der Temperaturhysterese des Spannefehlers spielt die Art der Verbindung 43 der Entkopplungsplatte mit dem Stützring keine Rolle, d.h. die Hysterese kann durch einstückig mit dem Stützring ausgebildete Entkopplungsplatten, durch lose aufgelegte Entkopplungsplatten oder durch beispielsweise mittels eines Hartlots fest mit dem Stützring verbundene Entkopplungsplatten erheblich reduziert werden.

Mit einer Dicke der Entkopplungsplatte von einem Zehntel der Stützringdicke wurde die Temperaturhysterese der Spanne von 0,15% auf 0,03% reduziert. Mit einer Entkopplungsplatte mit der gleichen Dicke wie der Stützring wurde die Temperaturhysterese der Spanne auf 0,01% reduziert. Der Spannefehler aufgrund einer Variation der axialen Einspannkräfte um 20% betrug dabei 0,02%.

Die Identifizierung des optimalen Innendurchmessers Φ_2 des Stützrings wird nachfolgend für ein Ausführungsbeispiel erläutert. Die vorgegebenen Abmessungen waren: Grundkörperdurchmesser $\Phi_1=32,4$ mm, Dicke des Grundkörpers $D1=5$ mm, Dicke der Membran $160\mu\text{m}$, Dicke der Aktivlotschicht $55\mu\text{m}$.

Mittels FEM wurde zunächst die Verformung der Druckmeßzelle für verschiedene Innendurchmesser des Stützrings bei axialen Einspannkraften von 500N und 400N ermittelt, und die daraus folgende Spanne bei Beaufschlagung mit dem Nenndruck (von 170mbar für die verwendete Druckmeßzelle) wurde ebenfalls mit FEM berechnet. Der Spannefehler ergibt sich durch Vergleich der Spannen bei 500 N Einspannkraft und 400 N Einspannkraft. Zur Reduzierung der Rechenzeit wurde hierbei zunächst der Stützring als unendlich steif angenommen. D.h. Verformungen des Stützrings und der Entkopplungsplatte wurden nicht hierbei zunächst nicht berücksichtigt.

Fig. 3a-c zeigt eine Vektordarstellung der Verformung der Druckmeßzelle aufgrund der axialen Einspannung für einen Ausschnitt um die Innenkante der Füge Stelle zwischen dem Grundkörper und der Meßmembran für verschiedene Innendurchmesser Φ_2 des Stützrings.

In Fig. 3a beträgt der Innendurchmesser 27,8 mm. Dieser Innendurchmesser ist zu groß. Das gezeigte Vektorfeld bei einer Einspannkraft von 500 N zeigt eine radial einwärts gerichtete Verschiebung, welche die MembranstEIFigkeit reduziert. Die Spanne wird damit also größer. Die Spannenänderung gegenüber der nicht eingespannten Zelle beträgt etwa +0,8%. Bei einer Einspannkraft von 400N wird die Spannenänderung auf etwa +0,64% reduziert. Der Spannefehler beträgt somit -0,16%.

In Fig. 3b beträgt der Innendurchmesser 10,0 mm dieser Innendurchmesser ist zu klein. Das gezeigte Vektorfeld bei einer Einspannkraft von 500 N zeigt eine radial auswärts gerichtete Verschiebung, welche die MembranstEIFigkeit erhöht. Die Spanne wird damit also kleiner. Die Spannenänderung gegenüber der nicht eingespannten Zelle beträgt etwa -0,1%. Bei einer Einspannkraft von 400N wird die Spannenänderung auf etwa -0,08% reduziert. Der Spannefehler beträgt somit +0,02%.

In Fig. 3c beträgt der Innendurchmesser 23,2 mm dieser Wert ist nahezu ideal. Das gezeigte Vektorfeld bei einer Einspannkraft von 500 N zeigt im Bereich der Fügestelle der Membran kaum eine radiale Verschiebung, welche die Membransteifigkeit verändern könnte. Die Spannenänderung gegenüber der nicht eingespannten Zelle beträgt etwa -0,01%. Bei einer Einspannkraft von 400N wird die Spannenänderung auf etwa -0,008% reduziert. Der Spannefehler beträgt somit +0,002%.

Somit ist für die gegebenen Abmessungen der Druckmeßzelle ein Innendurchmesser für einen Stützring gefunden, der die radiale Verformung der Druckmeßzelle aufgrund axialer Einspannkraft weitgehend eliminiert. In der praktischen Umsetzung weist der Stützring vorzugsweise eine Dicke auf, die nicht weniger als die Dicke der Druckmeßzelle ist, um der Annahme einer hinreichend steifen axialen Abstützung gerecht zu werden.

Mittels FEM wurde anschließend mit den zuvor ermittelten Stützringdaten als Ausgangspunkt die Verformung aller Komponenten des Drucksensors für axiale Einspannkraft von 500N und 400N ermittelt. Hierbei wurde für die Entkopplungsplatte und für den Stützring das gleiche Elastizitätsmodul angenommen wie für den Grundkörper und die Membran der Druckmeßzelle, nämlich das von Korund. Für das Gehäuse wurde VA-Stahl und für den Einspannring Messing angesetzt. Die aus der Verformung folgende Spanne bei Beaufschlagung mit dem Nenndruck wurde ebenfalls mit FEM berechnet. Der Spannefehler ergab sich wie zuvor durch Vergleich der Spannen bei 500 N Einspannkraft und 400 N Einspannkraft. Es wurde ein Spannefehler von weniger als 0,02% ermittelt.

Ebenfalls wurde mittels FEM die Verformung der Komponenten während eines Temperaturzyklus (Raumtemperatur -> -40°C -> 150°C -> Raumtemperatur) bestimmt, um die Temperaturhysterese der Spanne zu ermitteln. Durch Variation der Dicke der Entkopplungsplatte konnte eine Geometrie identifiziert

werden, bei der die Temperaturhysterese der Spanne unter einem angestrebten Grenzwert von 0,03% liegt. Durch weitere Iterationen mit Variationen der Stützringgeometrie und der Stärke auf einen akzeptablen Wert ist eine weitere Verbesserung zu erwarten.

Patentansprüche

5 1. Drucksensor, umfassend

10 eine Druckmeßzelle mit einem im wesentlichen zylindrischen Grundkörper mit einem ersten Durchmesser und einer ersten Dicke, einen an einer Stirnfläche des Grundkörpers gefügten Meßmembran mit einem zweiten Durchmesser und einer zweiten Dicke,

 einen elastischen Dichtring mit einem dritten Durchmesser und einer dritten Dicke,

15 einen Stützring mit einem vierten Außendurchmesser, einem vierten Innendurchmesser und einer vierten Dicke, wobei der Stützring mit der von der Meßmembran abgewandten Stirnseite der Druckmeßzelle fest verbunden ist,

20 einen Einspannring mit ersten Eingriffsmitteln und

 ein Gehäuse zur Aufnahme einer Druckmeßzelle, wobei das Gehäuse eine axiale Anschlagfläche für den Dichtring und zweite Eingriffsmittel, die in die ersten Eingriffsmittel eingreifen, aufweist,

25 wobei die Druckmeßzelle zwischen dem elastischen Dichtring, der zwischen der axialen Anschlagfläche des Gehäuses und der membranseitigen Stirnseite der Druckmeßzelle angeordnet ist, und dem Stützring, mittels des Einspannrings axial eingespannt ist,

30 dadurch gekennzeichnet, daß

zwischen dem Einspannring und dem Stützring ein steifes Entkopplungselement angeordnet ist, und

5 die Abmessungen des Stützrings und des Entkopplungselements solchmaßen auf die Abmessungen des Dichtrings und der Druckmesszelle abgestimmt sind, daß eine durch die axiale Einspannung der Druckmeßzelle bedingte radiale Verformung der membranseitigen Stirnfläche so gering ist, daß der Spannenfehler des Drucksensors aufgrund einer Reduzierung der axialen Einspannkraft um mindestens 10% nicht mehr als etwa 0,02% beträgt und die Temperaturhysterese der Spanne nicht mehr als etwa 0,03% beträgt.

- 15 2. Drucksensor nach Anspruch 1, wobei der Innendurchmesser des Stützrings so gewählt ist, daß der Spannenfehler bei einer Reduzierung der Einspannkraft um mindestens 20% nicht mehr als etwa 0,02% beträgt.
- 20 3. Drucksensor nach Anspruch 1, wobei der Innendurchmesser des Stützrings so gewählt ist, daß der Spannenfehler bei einer Reduzierung der Einspannkraft um mindestens 10% bzw. mindestens 20% nicht mehr als etwa 0,01% beträgt.
- 25 4. Drucksensor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Temperaturhysterese der Spanne nicht mehr als 0,02% und besonders bevorzugt nicht mehr als 0,01% beträgt.
- 30 5. Drucksensor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Grundkörper und die Meßmembran aus das gleichen Material, insbesondere ein keramisches Material aufweisen.

6. Drucksensor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Stützring und/oder das Entkopplungselement das gleiche Material wie der Grundkörper aufweist.
- 5 7. Drucksensor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Stützring mindestens die Dicke des Grundkörpers aufweist..
8. Drucksensor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das Entkopplungselement eine Entkopplungsplatte aufweist.
- 10 9. Drucksensor nach Anspruch 8, wobei die Entkopplungsplatte einen Durchmesser aufweist, der gleich dem Außendurchmesser des Stützrings ist.
- 15 10. Drucksensor nach Anspruch 8 oder 9, wobei die Entkopplungsplatte nicht fest mit dem Stützring verbunden ist.
11. Drucksensor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das Entkopplungselement einen Entkopplungsring aufweist.
- 20 12. Drucksensor nach Anspruch 11, wobei der Entkopplungsring etwa die gleichen Abmessungen wie der Stützring aufweist.
13. Drucksensor nach einem der Ansprüche 11 oder 12, wobei zwischen dem Stützring und dem Entkopplungsring Mittel zur Minimierung der Reibung vorgesehen sind.
- 25 14. Drucksensor nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei der Haftreibungskoeffizient zwischen dem Stützring und dem Entkopplungsring weniger als 0,2 beträgt.
- 30

15. Verfahren zur iterativen Optimierung der Abmessungen eines Stützrings und eines Entkopplungselements für einen Drucksensor, nach einem der vorherigen Ansprüche umfassend die Schritte:

- 5
- (i) Festlegen einer Geometrie für den Stützring und für das Entkopplungselement
- 10
- (ii) Berechnen einer ersten Spannenänderung des Drucksensors unter einer ersten axialen Einspannungskraft;
- (iii) Berechnen einer zweiten Spannenänderung des Drucksensors unter einer zweiten axialen Einspannungskraft;
- 15
- (iv) Ermittlung des Spannefehlers durch Vergleich der ersten Spannenänderung mit der zweiten Spannenänderung;
- (v) Bewertung des Spannefehlers;
- 20
- (vi) und Ermittlung der Temperaturhysterese der Spanne und Bewertung der Temperaturhysterese der Spanne, ggf. unter der Bedingung dass der Spannefehler hinreichend klein ist,
- 25
- (vii) Variation der Geometrie des Stützrings und ggf. des Entkopplungselements, und wiederholen der Schritte (ii) bis (vi) bis eine geeignete Geometrie für einen hinreichend kleinen Spannefehler und eine hinreichend kleine Temperaturhysterese der Spanne gefunden ist.

Zusammenfassung:

5 Zur Minimierung des Spannefehlers eines Drucksensors mit einem im wesentlichen zylindrischen Grundkörper und einer an einer Stirnfläche des Grundkörpers gefügten Meßmembran, wobei die Druckmeßzelle axial
eingespannt ist zwischen einem elastischen Dichtring, der auf der membranseitigen Stirnseite der Druckmeßzelle aufliegt, und einem Stützring, der die Druckmeßzelle rückseitig abstützt, sind die Abmessungen des Stützrings solchermassen auf die Abmessungen des Dichtrings und der Druckmesszelle abgestimmt daß eine durch die axiale Einspannung der Druckmeßzelle bedingte radiale Verformung der membranseitigen Stirnfläche so gering ist, daß der Spannenfehler des Drucksensors aufgrund einer Reduzierung der axialen Einspannkraft um mindestens 10% nicht mehr als etwa 0,02% beträgt. Zudem ist zwischen dem Stützring und einem
10
15 Einspannring ein steifes Entkopplungselement angeordnet, durch welches die Temperaturhysterese der Spanne minimiert wird. Die Geometrie des Stützrings und des Entkopplungselements wird iterativ mittels FEM ermittelt.

Fig. 1

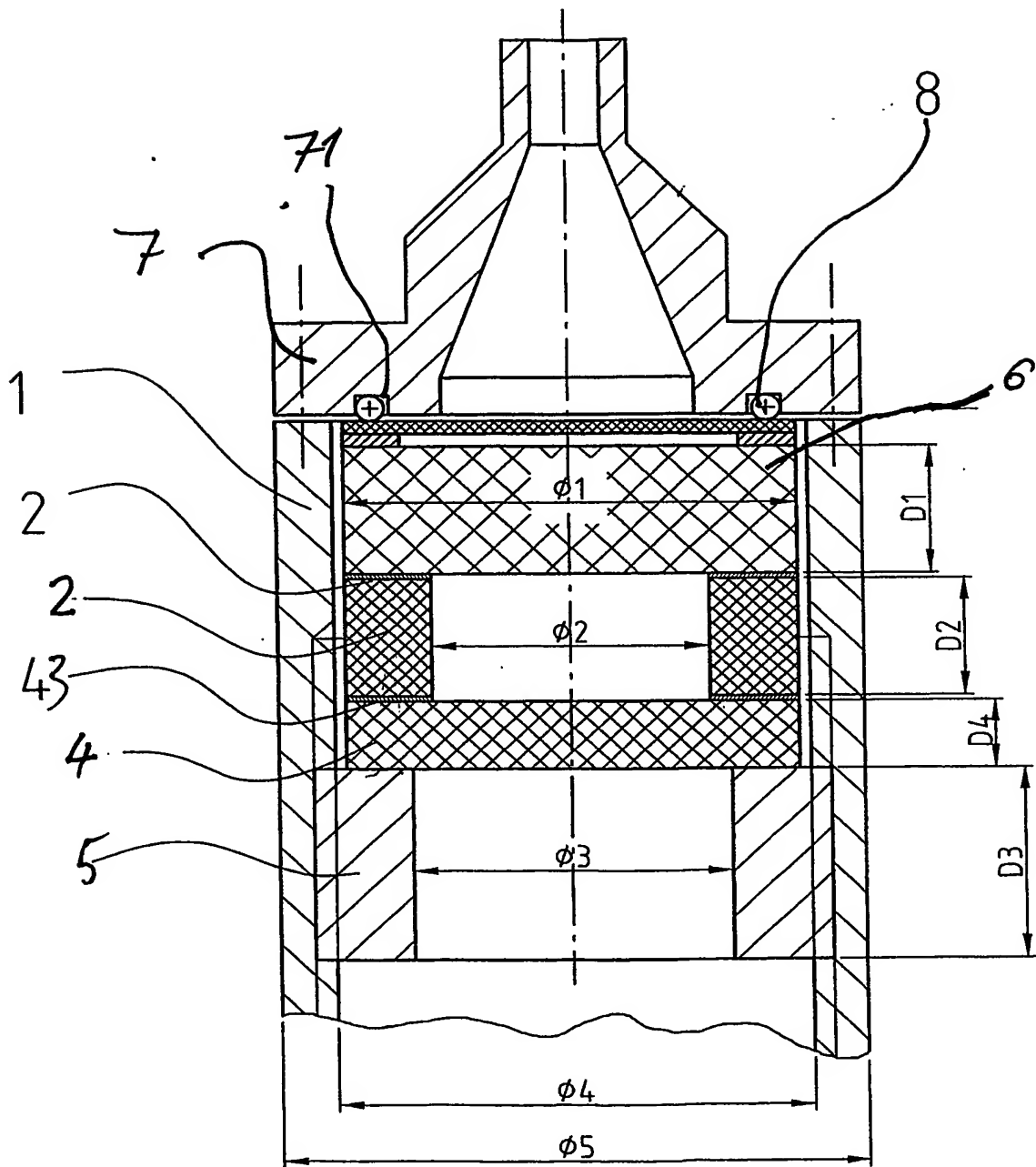
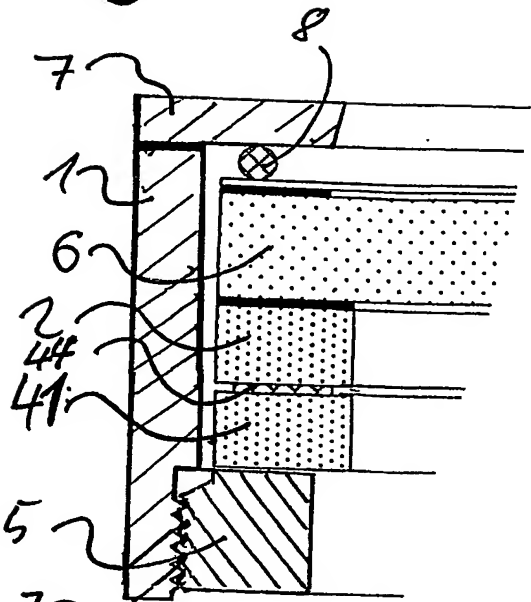
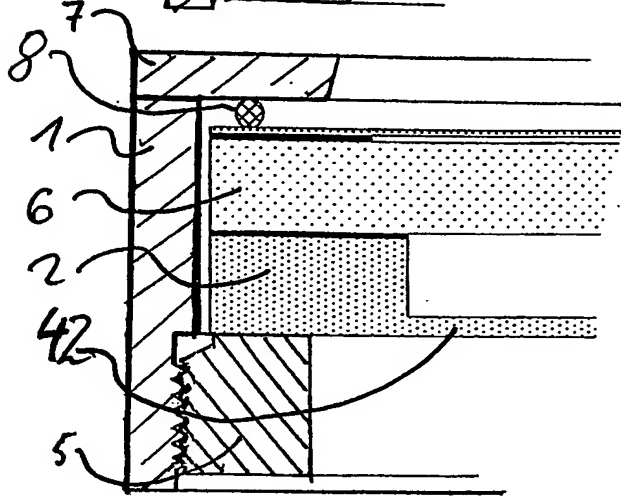


Fig. 1

a)



b)



c)

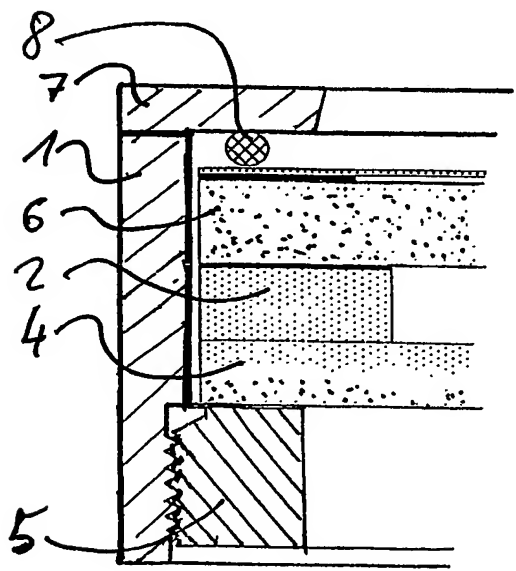


Fig. 2

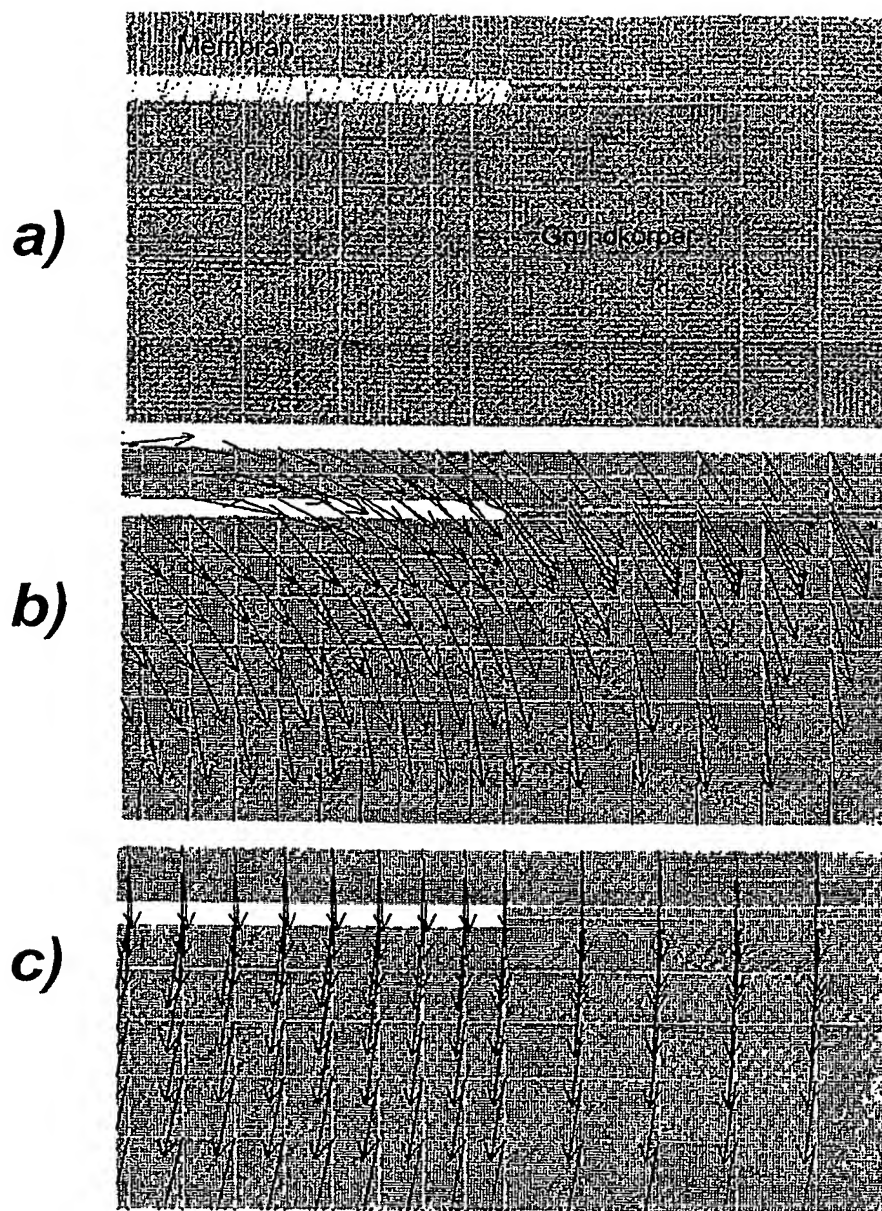


Fig. 3

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.